Beziehungen der Höhenstrahlung zum Luftdruck, zur Temperatur, zum erdmagnetischen Feld und zur Sonnentätigkeit

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich - Wilhelms - Universität zu Berlin

von

Ernst-August Meineke
aus Wolfenbüttel

Tag der mündlichen Prüfung: 26. März 1941
Tag der Promotion: 26. Mai 1941

N 18

Referenten:

Prof. Dr. W. Kolhörster
Prof. Dr. P. Zistler

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

I. Einleitung.

Nachdem man um das Jahr 1910 durch Messungen mit dem Elektrometer eine Reststrahlung gefunden hatte, die sich durch radioaktive Einflüsse nicht deuten ließ, nahm man zunächst an, daß es sich um eine vom Erdboden ausgehende Strahlung handele. V. F. Heß (1) stellte dann im Jahre 1912 auf Grund seiner Ballonmessungen, die allerdings keine eindeutigen Ergebnisse brachten, die Hypothese auf, daß die Strahlung von oben in die Atmosphäre eindringt. Um diese Behauptung zu bestätigen und klarzustellen, ob die Strahlung in den oberen Schichten der Atmosphäre oder etwa außerhalb der Erde entsteht, beschlossen die an der Erforschung dieser Strahlung beteiligten Wissenschaftler, an bestimmten Tagen und bei gleichen äußeren Bedingungen die Ionisierungsstärke zu messen. Wenn die Strahlung aus dem Weltenraum käme, hätten ihre etwaigen Schwankungen an allen Beobachtungsstationen gleichzeitig auftreten müssen. Außerdem versprach man sich von den Schwankungen einen Hinweis auf die Natur der Strahlung. Diese Beobachtungen führten aber zu keinem Ergebnis, da die Reststrahlung der Instrumente und ihre Temperaturabhängigkeit zu groß waren, und, wie wir heute wissen, die meteorologischen Elemente einen großen Einfluß ausüben. Erst W. Kolhörster (2) gelang es im Jahre 1913, durch Messungen mit temperaturunabhängigen Instrumenten im Freiballon, die ihn bis 9300 m Höhe führten, einwandfrei die Zunahme der Intensität bis zum etwa 80fachen des Bodenwertes nachzuweisen. Daraus berechnete er den Absorptionskoeffizienten und deutete dessen zeitliche und örtliche Gleichheit sowie vor allem die außerordentliche Durchdringungsfähigkeit der Strahlung als Argument für ihren kosmischen

Ursprung. Obwohl damit die Abhängigkeit der Höhenstrahlung von der durchsetzten Luftmasse gegeben war, reichte die Genauigkeit der Apparaturen noch nicht aus, um kleine zeitliche Schwankungen festzustellen. Deshalb gelang es L. Myssowsky und L. Tuwim (3) erst 1926, den Barometereffekt der Höhenstrahlung, d. h. einen spiegelbildlichen Gang von Luftdruck- und Intensitätswerten zu entdecken. Schon 1910 war diese Tatsache von S. G. Simpson und C. S. Wright (4) bei einer Fahrt auf hoher See gefunden worden, konnte aber damals noch gar nicht erklärt werden, da man noch nichts von Höhenstrahlen wußte. Der Barometereffekt wurde zunächst ganz einfach so erklärt, daß mit höherem Luftdruck die Dicke der durchsetzten Luftschicht wächst, die Strahlung stärker absorbiert wird und somit die am Erdboden gemessene Intensität auf einen geringeren Wert absinkt. Es zeigte sich aber bald, daß auch dieser Barometereffekt Schwankungen unterlag und sich also Intensitätsänderungen ergaben, die bei der damaligen Meßgenauigkeit nicht eindeutig erklärt werden konnten. A. Corlin (5) wies 1928 auf die Schwankungen zweiter Art hin, die in ihrer Entstehung ganz ungeklärt waren, weil man annahm, daß es sich um eine Quanten- oder Wellenstrahlung handele, was ihrer Durchdringungsfähigkeit am meisten entsprochen haben würde. Indessen konnte Kolhörster (6) die Koinzidenzfähigkeit der Höhenstrahlung zeigen und dann zusammen mit W. Bothe (7) den Nachweis der korpuskularen Natur erbringen. Gleichzeitig machten sie darauf aufmerksam, daß ein Einfluß des erdmagnetischen Feldes nach der Theorie der Polarlichter vorhanden sein müsse, wie bereits von W. Kolhörster (8) im Jahre 1919 kurz erörtert worden war. Bothe und Kolhörster (9) selbst gelang es damals nicht, den Breiteneffekt nachzuweisen, obwohl sie auf einer Reise zwischen Hamburg und Island–Spitzbergen danach suchten. In der Tat ist auch, wie heute bekannt, in diesen Breiten keine merkliche Intensitätsänderung der Höhenstrahlung zu erwarten, wohl aber in dem Gebiet zwischen 50° N und 50° S Breite, wo eine Intensitätsabnahme von etwa 13 % gefunden wurde. Als J. Clay (10) diese Beobachtungen im Jahre 1927/28 machte, zog er als Stütze seiner Messungen die Beobachtungen von W. Kolhörster (11) aus dem Jahre 1916 in Konstantinopel heran, der schon damals von einer korpuskularen Natur der Strahlung ausgehend nach dem Breiten-

effekt suchte und in der Tat eine Abnahme der Intensität nach niederen Breiten zu fand. Auch A. Corlin (12) hatte bereits aus seinen Beobachtungen in Schweden einen sogenannten Magneteffekt der Höhenstrahlung abgeleitet, der sich in bester Übereinstimmung mit den Clayschen Messungen befand. Er wies weiter darauf hin, daß die Schwankungen zweiter Art von erdmagnetischen Störungen herrühren könnten, was heute allgemein für richtig gehalten wird. Diese sind für die Bestimmung des Luftdruckeffekts von größter Bedeutung, indem sie dadurch die Basiswerte verlagern und so Schwankungen des Luftdruckeffekts hervorrufen. Hinzu kommen noch die Eigentümlichkeiten der zur Messung benutzten Apparaturen. Bei Messungen mit der Ionisationskammer muß man z. B. infolge des allseitigen Einfalls und der großen Durchdringungsfähigkeit der Strahlung damit rechnen, daß bei einer großen Anzahl von Strahlen je nach ihrer Neigung zur Horizontalen der Luftweg entsprechend dem Cosinus-Gesetz verlängert ist. Infolgedessen gelangt noch Strahlung, welche Luftmasse in ziemlich weitem Abstande vom Beobachtungsort durchsetzt hat, zur Messung (13). Eine ungleichmäßige Luftdruckverteilung kann so einen gewissen Einfluß ausüben. Es hat sich z. B. experimentell gezeigt, daß man derartige Einflüsse von schnell vorüberziehenden Tiefdruckgebieten durch Schwankungen im Luftdruckeffekt beobachten kann (14). Daß sich hieraus auch für die Meteorologie eine Anzahl interessanter Probleme über die Druckverteilung am Beobachtungsort ergeben, versteht sich von selbst.

Aus allem geht hervor, daß der Luftdruckeffekt in erster Näherung als reiner Absorptionseffekt betrachtet werden kann, wobei sich allerdings bei neueren Messungen herausstellte, daß dieser Effekt nicht der einzige ist. Die Luftdruckschwankungen der Höhenstrahlung erwiesen sich nämlich auch für die theoretische Deutung der Strahlung von Wert, indem W. Kolhörster und I. Matthes (15) durch ihre Kompensation den direkten Nachweis der harten Komponente der Höhenstrahlung, der sogenannten Mesonen erbringen konnten. Diese liefern mit rund 75 % den größten Anteil an der Gesamtstrahlung, während die restlichen 25 % durch die weiche Komponente dargestellt werden. H. Yukawa (16) wies auf Grund seiner Theorie der Kernkräfte als erster auf die Existenz solcher Teilchen hin, die deshalb als Me-

sonen bezeichnet werden, weil ihre Masse zwischen der Masse des α-Teilchens und der des Elektrons liegt. Die Anwendung dieser Theorie auf die Höhenstrahlung wurde von H. Euler und W. Heisenberg (17) durchgeführt. Sie nahmen an, daß die Primärstrahlung nach Durchsetzen von 1/10 Atmosphäre die Mesonen erzeugt, da in dieser Höhe von G. Pfotzer (18) ein Maximum der Strahlung gefunden wurde. Nach den erwähnten Kompensationsmessungen ließ sich nun auch die mittlere Lebensdauer der Mesonen berechnen, ohne daß man wie bisher irgendwelche Voraussetzungen über ihre Entstehungshöhe zu machen brauchte. Man erhält so eine außerordentlich kurze Lebensdauer, und die Teilchen können nur wegen ihrer sehr hohen Geschwindigkeit, die annähernd so groß wie die Lichtgeschwindigkeit ist, zum Erdboden gelangen. Dabei zerfallen sie längs ihres Weges nach Art der radioaktiven Substanzen in ein Elektron oder Positron und ein Neutrino. Der Luftdruckeffekt der harten Komponente stellt sich nun als Wirkung des spontanen Zerfalls der Mesonen dar. Ihre Entstehungsfläche ändert ihre Höhe über dem Erdboden in Abhängigkeit von dem am Meßort selbst herrschenden Luftdruck. Die Folge davon ist, daß der Weg zwischen Entstehungsort und Meßapparat und somit wegen des radioaktiven Zerfalls der Mesonen die Intensität der durchdringenden Komponente eine Funktion des Barometerstandes ist. Der Luftdruckeffekt ergibt sich also für die weiche Komponente als einfacher Absorptionseffekt, während er sich für die harte Komponente als Zerfallseffekt darstellt.

Schon früher hatte man die Untersuchungen auf andere meteorologische Faktoren wie Außentemperatur, Niederschlag, Feuchtigkeit und Bewölkung ausgedehnt (19). Ein reeller Einfluß konnte aber bisher nur für die Außentemperatur festgestellt werden. Er wurde zuerst von G. Hoffmann und W. Messerschmidt (20) gefunden, als dieser nach einer Erklärung des Tagesganges der Höhenstrahlung suchte. Bei der weiteren Untersuchung dieses Temperatureffekts, die hauptsächlich von V. F. Heß und R. Steinmaurer, J. A. Priebsch und J. Barnothy und M. Forro (21) durchgeführt wurde, zeigten sich zunächst sich widersprechende Ergebnisse, indem der Effekt teils positiv, teils negativ gefunden wurde. Da der Effekt ungefähr um eine Größenordnung kleiner als der Barometereffekt ist, wird dadurch seine Beurteilung noch sehr er-

schwert. Allgemein stellt sich aber heute der Effekt im Tagesgang positiv heraus, während er bei Heranziehung längerer Meßreihen unter Benutzung von Tagesmitteln negativ ist. Eine Erklärung für dieses entgegengesetzte Verhalten ist von Kolhörster (23) nunmehr gegeben worden. Es dürfte mit den Tages- und Jahresgängen der Temperatur und des Erdmagnetismus zusammenhängen, die beide von der Sonne gesteuert werden. Während der Tagesgang unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung entsteht, ist der Verlauf innerhalb eines Jahres im wesentlichen in unseren Breiten durch den Wechsel verschiedener Luftmassen bestimmt. Da es nur auf die Temperaturänderungen ankommt, die örtlichen Verhältnisse aber lediglich als additiver Faktor hinzutreten, ist es erklärlich, daß schon die Bodentemperatur diesen Einfluß zeigt.

Eine nähere Deutung wird sich, wie beim Barometereffekt, an die Mesonentheorie anschließen; denn infolge der größeren Ausdehnung der Atmosphäre bei ihrer Erwärmung wird die Bildungsschicht der Mesonen heraufgerückt und so die Anzahl der auf den Erdboden einfallenden Teilchen verringert. Zur Erklärung der positiven Korrelation im Tagesgang könnte man die Überlegung von C. L. Pekeris (22) heranziehen. Dieser nimmt an, daß in der Atmosphäre infolge der Sonneneinstrahlung Resonanzschwingungen auftreten, die in ungefähr 30 km Höhe eine Knotenebene haben. Da aber nach den Beobachtungen die Schicht, in der die Mesonen mit der Primärstrahlung im Gleichgewicht sind, sich in ungefähr 20 km Höhe befindet, dürfte diese Deutung kaum zutreffen. Bei der Bearbeitung des Tagesganges der Höhenstrahlung, die von W. Kolhörster (23) ausgeführt wurde, zeigte sich nun, daß dieser Gang im wesentlichen mit dem entgegengesetzten Verlauf der Luftdichte übereinstimmt. Danach würde sich der positive Temperatureffekt so erklären lassen, daß bei erhöhter Temperatur die Luftdichte abnimmt und wegen der geringeren Absorption der Sekundärstrahlen stärkere Gesamtintensität beobachtet wird. Dieser Effekt überwiegt im Tagesgang den Abstandseffekt und führt so zu der positiven Korrelation.

Nachdem man so die rein meteorologischen Einflüsse erkannt hatte, konnte man sie durch Reduktion der beobachteten Intensitäten auf gleichen Barometerstand und gleiche Temperatur unter Anwendung der berechneten Effekte eliminieren und die reduzier-

ten Intensitäten nun auf die Schwankungen zweiter Art näher untersuchen. A. Corlin, W. Messerschmidt sowie R. Steinmaurer und H. Graziadei (24) versuchten, den Einfluß magnetischer Störungen auf die Höhenstrahlung festzustellen, wobei z. B. letztere bei der Bearbeitung der Registrierungen auf dem Hafelekar für die Jahre 1931–1933 eine Verminderung der Intensität für die Dauer magnetischer Störungen fanden. Eine eindeutige Bestätigung dieses Zusammenhanges erfolgte erst im Jahre 1937, als mit der Verstärkung der Sonnenaktivität ein Aufleben der Sturmtätigkeit eintrat und ein Absinken der Höhenstrahlenintensität bei großen Stürmen auf allen Stationen der Erde beobachtet wurde. Zur Deutung dieser Beobachtungstatsachen muß man die Theorie des Ringstroms, wie sie von Størmer, Chapman u. a. entwickelt wurde, heranziehen. Danach wird das erdmagnetische Feld einerseits durch das statische Dipolfeld, zum anderen durch das dynamische Feld des Ringstroms bedingt. Dieser besteht aus positiven und negativen Ladungen, welche die Erde in der Ebene des magnetischen Äquators umkreisen. Der Abstand dieses Ringstroms wurde von J. Chapman und S. E. Forbush (25) auf Grund der Ablenkung der Höhenstrahlen zu einigen Erddurchmessern berechnet. Wenn der Ringstrom während einer Sonneneruption durch dazukommende Ladungen verstärkt wird, so verstärkt sich auch das magnetische Dipolmoment der Erde für alle Gebiete außerhalb des Stromes. Entsprechend dem Absinken der Horizontalintensität wird dagegen das Magnetfeld in der Nähe der Erdoberfläche abgeschwächt. Die Zunahme des Erdfeldes im Außenraum lenkte die Teilchen der Höhenstrahlung stärker als gewöhnlich ab, so daß an der Erdoberfläche eine Verminderung der Intensität beobachtet wurde.

Eine Beeinflussung der Höhenstrahlung durch die Sonnentätigkeit könnte also auf diese indirekte Weise geschehen und nicht, wie man früher zeitweilig annahm, dadurch, daß die Sonne einen Beitrag zur Strahlung liefert. Da die erdmagnetischen Daten, die uns die Ringstromstärke angeben, noch durch örtliche Ionosphäreneinflüsse gestört sind, wurde versucht, die Höhenstrahlung direkt mit der Tätigkeit der aktiven Zentren auf der Sonne zu vergleichen. Man muß dabei freilich beachten, daß der Zusammenhang zwischen den Daten über die Sonnentätigkeit, die uns die Astrophysik

liefert, und dem Erdmagnetismus nicht so ausgeprägt ist und nur statistisch auf Grund sehr langer Beobachtungsreihen erfaßt werden kann. Für die Einzelereignisse braucht dies aber durchaus nicht zuzutreffen. Aus den Beobachtungen ergibt sich, daß mit bloßem Auge sichtbare Sonnenflecke manchmal keine Magnetstörung hervorrufen, während andererseits magnetische Stürme auftreten, ohne daß Sonnenflecke überhaupt festzustellen sind. Man erklärt sich dies so, daß auf der Sonne bestimmte Gebiete (M-Regionen) existieren, deren Lebenszeit im allgemeinen länger als die durchschnittliche Lebensdauer der Sonnenflecken ist (26). Sie werden als Entstehungsort der korpuskularen Strahlung, die den Ringstrom erzeugt, angesehen, entgehen aber bisher den astrophysikalischen Beobachtungen.

Die Möglichkeit der direkten Beeinflussung der Höhenstrahlung durch die Sonne besteht nun allerdings bei der Annahme eines äußeren Sonnenfeldes. Gewisse Beobachtungen des Breiteneffektes lassen sich nämlich nicht allein durch das erdmagnetische Feld erklären. Deshalb nimmt L. Janossy (27) an, daß der Höhenstrahlung bereits außerhalb des Erdfeldes eine feste untere Energiegrenze mit etwa $4 \cdot 10^9$ eV gesetzt ist, indem er der Sonne ein geomagnetisches Dipolmoment von $1{,}7 \cdot 10^{34}$ Gauß/cm^3 zuschreibt. Jahreszeitliche und unperiodische Änderungen der Höhenstrahlung, die sich durch erdmagnetische Erscheinungen allein nicht erklären lassen, sind vielleicht auf Änderungen dieses Sonnenfeldes zurückzuführen.

Zum Abschluß dieser Übersicht soll noch kurz auf die langperiodischen Schwankungen hingewiesen werden, von denen die jährliche die wichtigste ist. In unseren Breiten tritt ihr Maximum im Januar und ihr Minimum im Juli auf, während in südlichen Breiten gerade umgekehrt das Minimum im Südsommer und das Maximum im Südwinter beobachtet wird. Diesen Zusammenhang mit dem Sonnenstand deutet G. R. Miczaika (28) als reinen Temperatureffekt: Mit steigender Temperatur wird die Grenzfläche der Stratosphäre und damit auch die Bildungsschicht der Mesonen gehoben, und dementsprechend tritt ein Absinken der Intensität ein. – Bei der Auswertung von Messungen auf vier amerikanischen Stationen (50° N – 48°S geomagn. Breite) fand S. E. Forbush (29) der jährlichen noch eine sogenannte weltweite Schwankung überlagert.

Eine Beurteilung dieser Erscheinung kann aber bisher kaum erfolgen, da die Beobachtungszeit im Vergleich zu ihrer Periode noch zu kurz ist.

Aus vorstehender Darstellung ergibt sich, daß das im Jahre 1913 erstrebte Ziel, gleichzeitige Schwankungen der Höhenstrahlung auf der ganzen Erde zu beobachten und daraus Rückschlüsse auf die Natur der Strahlung zu ziehen, erst in den letzten Jahren erreicht ist. Das für die Auswertungen zur Verfügung stehende einwandfreie Material aus ununterbrochenen Meßreihen erstreckt sich also auf einen relativ kurzen Zeitraum. Eine vollständige Erklärung verschiedener Probleme, wie sie z. B. mit den nur selten stärker auftretenden magnetischen Stürmen zusammenhängen, kann infolgedessen kaum erwartet werden. Außer dem Zusammenhang mit den meteorologischen Faktoren ist bisher nur eine eindeutige Beziehung der Höhenstrahlung zu starken magnetischen Stürmen gefunden worden. Dagegen bedarf der Einfluß des Erdmagnetismus in magnetisch ungestörten Zeiten und die Beziehung zur Sonnenaktivität noch einer weiteren Klärung, zu der diese Untersuchung einen Beitrag liefern soll.

II. Meßanordnung und Rechenverfahren.

Längere Registrierungen der Höhenstrahlung wurden meist mit der Ionisationskammer (30), seltener mit Zählrohren (31) ausgeführt, obwohl die Zählrohre gegenüber der Ionisationskammer gewisse Vorteile bieten, besonders wenn man Koinzidenzanordnungen verwendet. Einmal wird dadurch die Wirkung der Sekundärstrahlen, die mit der Ionisationskammer sogar etwas bevorzugt gemessen werden, unterdrückt und somit die Deutung der Ergebnisse vereinfacht. Zum andern lassen sich zur Messung genau definierte Strahlenbündel aussondern, während man mit der Ionisationskammer immer nur einen über die ganze Himmelskugel gemittelten Wert erhält.

Um die erforderliche Meßgenauigkeit über längere Zeiträume sicherzustellen, was wegen geringer Änderungen in der Ansprechwahrscheinlichkeit der Zählrohre sowie dem gelegentlichen Ausfall von Verstärkerröhren schwierig ist, wurde im Dahlemer Institut für Höhenstrahlenforschung von W. Kolhörster und Mitarbeitern eine

Doppel-2fach-Koinzidenzanordnung entwickelt. Mit dieser wurden im betrachteten Zeitraum aus der Vertikalen einfallende Strahlen ungefiltert gemessen. Die Vertikalstrahlen eignen sich nun besonders gut zur Bestimmung des Luftdruckeffekts, da auf diese Weise nur Strahlen berücksichtigt werden, die durch die vom Barometerstand charakterisierte Luftsäule hindurchgegangen sind.

Da eine Beschreibung dieser Apparatur in einer soeben erschienenen Arbeit des Instituts von Göttlicher und Dittrich (32, 33) gegeben ist, sollen hier nur kurz einige grundsätzliche Angaben zusammengestellt werden: Sie besteht aus vier gleich großen übereinandergestellten Zählrohren, von denen das erste und das dritte sowie das zweite und das vierte in Koinzidenz geschaltet sind. Der Abstand zwischen den beiden zusammengekoppelten Zählrohren beträgt je 18,75 cm, der Abstand der beiden Anordnungen voneinander 6,25 cm. Dadurch wird das aus der Vertikalen einfallende Strahlenbündel von $30^0 \times 157^0$ Raumwinkel doppelt registriert. Nach einer Berechnung von W.-W. Dittrich (33) werden 72 % des Strahlenbündels von beiden Anordnungen gemeinsam erfaßt, so daß sich eine gute Kontrollmöglichkeit ergibt. – Um ein größeres Auflösungsvermögen zu erzielen, wurden die Zählrohre nach Angaben von Trost mit Argon und Alkoholdampf gefüllt. Als Anode diente ausgeheizter Tantaldraht. Das so erreichte Auflösungsvermögen der Zählrohre beträgt 10^{-5} sec. Allgemein wurde darauf geachtet, daß die beiden Zählrohrpaare unabhängig voneinander arbeiten und daß die Verstärker sich nicht gegenseitig beeinflussen. Das Aussieben der koinzidierenden Zählrohrstöße erfolgte nach dem von Vetter entwickelten Hexodenprinzip. Die Hexode kann nur dann ansprechen, wenn in beiden Zählrohren gleichzeitig ein Spannungsstoß erfolgt, so daß beide Gitter positiv geladen sind. Dieses Prinzip wird allerdings jetzt im Institut nicht mehr angewandt, da sich eine andere Anordnung, in der zunächst eine Amplitudenausgleichung der ankommenden Stöße durch ein Thyatron erfolgt und dann die übliche Mischung nach dem Rossi-Prinzip geschieht, besser bewährt hat. Das mechanische Zählwerk wird durch eine Doppel-Thyratron-Zählstufe nach J. C. Mouzon (34) zum Ansprechen gebracht. Die Registrierungen der Zähler werden alle 30 Minuten automatisch gedruckt.

Bei der Zählung von 200 000 Koinzidenzen, die täglich zusammen in beiden Zählrohrpaaren registriert werden, beträgt der statistische Fehler nur etwa 2 Promille. Die Meßgenauigkeit ist daher außerordentlich groß. Die gegenseitige Kontrolle verbürgt außerdem eine große Meßsicherheit, so daß selbst, wenn eine Anordnung z. B. wegen Überholung ausfällt, die Kontinuität des Materials gesichert ist. Das Auflösungsvermögen der ganzen Apparatur konnte auf einen für die Meßgenauigkeit ausreichenden Wert herabgesetzt werden. Die sich daraus ergebende Zahl der Zufallskoinzidenzen beträgt rund 3%. Etwaige Schwankungen der Zufallskoinzidenzen werden also gegenüber den Schwankungen der Gesamtstrahlung so klein sein, daß sie bei der Berechnung nicht berücksichtigt zu werden brauchen.

Zur Bestimmung des Grades der Abhängigkeit zwischen der Intensität der Höhenstrahlung und den einzelnen betrachteten Elementen dient die Korrelationsrechnung. Sie liefert eine mathematische Aufteilung der Schwankungen des einen Elementes auf die Schwankungen des anderen und gibt im Korrelationskoeffizienten und Effekt zahlenmäßige Werte für die Größe dieser Zusammenhänge an. Der Koeffizient sagt zahlenmäßig über die Güte der Abhängigkeit etwas aus und läßt auf Grund eines Vergleiches mit seinem mittleren Fehler erkennen, ob eine solche überhaupt als gesichert angesehen werden kann. Der Effekt legt die Größe der Beziehung zwischen den Elementen fest, die von der Güte der Korrelation abhängt, aber von den auftretenden Schwankungen unabhängig sein muß. Bei gleicher Korrelation werden z. B. größeren Schwankungen der Höhenstrahlung auch größere des anderen Elementes entsprechen. Ist aber die Verbundenheit nur schwach, so wird eine kleine Schwankung des einen Elementes bei einer in ihrer Amplitude gleichbleibenden Schwankung der Intensität einen hohen Effekt vortäuschen. Dies liegt in der Natur der Korrelationsrechnung, die als Ausgleichsrechnung die Intensitätskurve durch die Schwankungen des jeweils betrachteten Elementes mathematisch auszugleichen sucht ohne Rücksicht auf die physikalischen Zusammenhänge, über welche auch nichts vorausgesetzt wird.

Zur Bestimmung des Luftdruck- und Temperatureffekts empfiehlt es sich, wegen des engen Zusammenhanges dieser beiden

meteorologischen Faktoren die mehrfache Korrelationsrechnung anzuwenden. Hierauf wies A. Corlin (35) zum ersten Mal hin und stellte auch die für die Rechnung notwendigen Formeln zusammen. Dies etwas unübersichtliche und zeitraubende Verfahren ist von J. A. Priebsch (21) für den speziellen Fall dreier Veränderlicher verbessert und für die praktische Anwendung vereinfacht worden. Zweck dieser Rechnung ist es, unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur ihren Einfluß auf die Höhenstrahlung einzeln herauszuarbeiten.

Da aber in dieser Arbeit noch die Beziehungen des Erdmagnetismus und der Sonnentätigkeit zur Höhenstrahlung festgestellt werden sollen, bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten, die im folgenden etwas näher erörtert werden.

Um eine möglichst gute Ausgleichung der Intensitätsschwankungen zu bekommen, schien es am günstigsten, eine Vierfach-Korrelation zwischen der Intensität der Höhenstrahlung, dem Luftdruck der Temperatur sowie je einer der erdmagnetischen Komponenten oder der Daten für die Sonnentätigkeit anzusetzen. Andererseits wies das bisher angewandte Verfahren, zunächst mit Dreifach-Korrelation zwischen der Intensität, dem Barometerstand und der Außentemperatur die Intensität auf gleichen Barometerstand und gleiche Temperatur zu reduzieren und dann eine Zweifach-Korrelation mit den magnetischen Elementen oder den Angaben über die Sonnentätigkeit durchzuführen, schon allein infolge der bedeutend einfacheren Rechnung gewisse Vorzüge auf. Außerdem lassen sich so die Verhältnisse graphisch gut übersichtlich darstellen und die Rechnungen roh kontrollieren. – Betrachtet man die Frage nach einer Drei- oder Vierfach-Korrelation vom rein physikalischen Standpunkt, so sind zwei vollkommen verschiedene Prozesse zu berücksichtigen: Einmal werden die Höhenstrahlen infolge ihrer korpuskularen Natur außerhalb der Atmosphäre durch das magnetische Feld des Ringstroms und vielleicht auch noch durch das äußere Feld der Sonne abgelenkt und durch Schwankungen dieser Felder beeinflußt. Zum anderen steht die auf der Erdoberfläche gemessene Intensität dadurch mit den meteorologischen Faktoren im engen Zusammenhang, daß sich mit wechselnder Temperatur sowohl die Dichte der durchsetzten Luftschicht und damit die Absorption als auch die

Höhe der Bildungsschicht der Mesonen ändert. Da ein Zusammenhang zwischen den meteorologischen Elementen und der erdmagnetischen Intensität bisher nicht gefunden werden konnte, dürfen beide Prozesse rechnerisch getrennt behandelt werden. Andererseits erhält man bei der Rechnung einer Zweifach-Korrelation zwischen der unreduzierten Intensität der Höhenstrahlung und je einem der übrigen betrachteten Elemente eine vollkommen gesicherte Korrelation nur zwischen der Höhenstrahlung und dem Luftdruck, während der Zusammenhang mit der Temperatur unsicher wird. Die Korrelationskoeffizienten mit den übrigen Elementen sind dagegen ihrem mittleren Fehler gegenüber zu klein, um hier einen gesicherten Zusammenhang zu gewährleisten. Da die Fehler der Zweifach-Korrelationskoeffizienten bei einer Vierfach-Korrelation noch quadratisch eingehen und das Endresultat dementsprechend verfälschen können, dürfte diese unter den vorliegenden Umständen mathematisch kaum zu rechtfertigen sein. Auch aus der Größe der Effekte ergibt sich, daß die Hauptschwankungen der Höhenstrahlung auf Schwankungen des Barometerstandes zurückzuführen sind; denn der Barometereffekt überwiegt sämtliche übrigen Effekte um ungefähr eine Größenanordnung. Letztere sind zum Teil so klein, daß sie nur mehrere Promille betragen und damit bereits in die Nähe des statistischen Fehlers rücken. Da aber zum Beispiel die Temperatur großen Schwankungen unterliegt, darf trotz des kleinen Effektes ihr Einfluß, besonders, wenn man den Jahresverlauf betrachtet, nicht vernachlässigt werden. Aus diesen Gründen wurde bei der Bearbeitung des vorliegenden Materials von einer Vierfach-Korrelation abgesehen und das bisherige Verfahren, den Zusammenhang mit den meteorologischen Faktoren und den übrigen Elementen auch rechnerisch getrennt zu untersuchen, beibehalten.

III. Ergebnisse.

Die Registrierungen der oben beschriebenen Doppel-Zweifach-Koinzidenzanordnung sind über die Zeit vom 14. September 1938 bis zum 30. August 1939 auf erdmagnetische Einflüsse und auf Zusammenhänge mit der Sonnentätigkeit untersucht worden. Sie umfassen somit nach der erdmagnetischen Bezeichnung die

Sonnenrotationen 1443–1455. Die zunächst erforderliche Bearbeitung auf meteorologische Einflüsse nimmt Bezug auf soeben erscheinende Veröffentlichungen von W. Kolhörster (23) sowie von F. Göttlicher und W.-W. Dittrich (32). Hinsichtlich des Zusammenhanges mit den erdmagnetischen Elementen und der Sonnentätigkeit werden Arbeiten von W. Kolhörster (36) und G.R. Miczaika (37) zur Diskussion mit herangezogen.

Wie im zweiten Teil im einzelnen auseinandergesetzt wurde, handelte es sich zunächst darum, die Einflüsse des Luftdrucks und der Temperatur auf die Strahlungsintensität festzustellen, um dann das so verbesserte Material zum Vergleich mit den anderen Einflüssen heranziehen zu können. Wegen der bei der Berechnung des Luftdruckeffekts auftretenden Schwankungen zweiter Art wurde für jede Sonnenrotation das bekannte Diagramm gezeichnet, in dem die zusammengehörigen Werte von Luftdruck und Intensität für die aufeinanderfolgenden Tage durch gerade Linien verbunden sind. Betrachtet man alle Punkte zusammen, so hat diese Punktwolke ungefähr die Gestalt einer Ellipse. Aus der Neigung der großen Achse dieser Ellipse gegen die Horizontale (Abszissenachse) wird der numerische Wert des Luftdruckeffekts bestimmt. Da die Schwankungen dieses Effekts hauptsächlich auf Intensitätsänderungen infolge starker magnetischer Stürme zurückzuführen sind, wurde zur Kennzeichnung des magnetischen Störungszustandes die Potsdamer erdmagnetische Kennziffer K_1 herangezogen. Die Tage, bei denen sie im Mittel größer als 4 (bewegter Störungszustand) war, wurden im Diagramm besonders vermerkt und, wenn sie aus der Punktwolke herausfielen, bei der Berechnung fortgelassen. Schon hier fiel es auf, daß manche erdmagnetischen Störungen einen starken Einfluß auf die Intensität haben, während andere diese wiederum gar nicht beeinflussen. Die multiple Korrelationsrechnung ergab nunmehr die Werte der Tabelle 1. Es sind dort zunächst die Korrelationskoeffizienten (R) und Effekte (P) für beide Apparate, die mit VI und VII bezeichnet sind, getrennt aufgeführt und darunter die Mittelwerte zusammengestellt, die im folgenden betrachtet werden.

Bemerkenswert ist zunächst einmal die außerordentlich gute negative Korrelation zwischen Intensität und Luftdruck, die in den Rotationen 1447 und 1450 bis zum Höchstwert von R = –1,00 an-

steigt. Dies kommt daher, daß diese Rotationen kaum magnetisch gestört waren. Dagegen machte sich in den Rotationen 1443 und 1451 der Magneteinfluß trotz des Ausscheidens der magnetisch stark gestörten Tage doch noch bemerkbar, da nur die Tage mit magnetischer Kennziffer $K_1 > 4$ weggelassen waren. – Die Rotationen 1452–1455 eignen sich nicht für diese Bestimmungen, da dort die Rohre durch den zweijährigen Dauerbetrieb schon stark verbraucht waren. Sie wurden damals nur deswegen weiter benutzt, um ihr Verhalten noch länger zu untersuchen. Gleichzeitig dienten sie in dieser Zeit zur Bestimmung des inneren Temperatureffekts der Zählrohre, der sich in der Zeit größerer Temperaturschwankungen besonders gut verfolgen ließ.

Die zu den Korrelationskoeffizienten gehörigen Effektwerte sind ebenfalls negativ. Bei ihrer Nachprüfung durch die aus den Diagrammen ermittelten Werte konnte volle Übereinstimmung festgestellt werden; dies war angesichts der sehr guten Korrelation und der geringen Schwankungen der Effekte untereinander zu erwarten.

Die Temperaturkoeffizienten und -effekte zeigen dagegen ein anderes Verhalten, da sie wohl größtenteils negativ, in drei von den betrachteten dreizehn Rotationen aber positiv sind. Als Mittel ergeben sich aber für die Temperaturkoeffizienten und -effekte negative Werte. Dies entspricht den in der Einleitung näher erörterten beiden entgegengesetzten Temperatureinflüssen. Im Jahresverlauf zeigt sich ein Überwiegen des Abstandseffekts, während in kürzeren Perioden manchmal der Einfluß der Dichte stärker hervortritt. Die geringe Korrelation wird noch dadurch hervorgerufen, daß die Temperatur in der Höhe der Gleichgewichtsschicht der Mesonen keinen besonders engen Zusammenhang mit der Bodentemperatur zeigen wird.

Den Mittelwerten der Effekte kommt insofern eine große Bedeutung zu, als sie zur Reduktion der beobachteten Intensitäten auf gleichen Barometerstand und auf gleiche Temperatur benutzt werden mußten. Das für die gesamten Rotationen gezeichnete Intensitätsdiagramm bestätigte den aus der Mittelbildung der errechneten Effekte erhaltenen Betrag vollauf.

Nach Reduktion auf 755 mm Hg und 10° C mit den berechneten Koeffizienten ergab sich für die Intensität der Höhenstrahlung

noch eine kontinuierliche Intensitätsabnahme vom Januar bis zum Juni. Dies dürfte einmal auf den in der Einleitung beschriebenen jährlichen Gang, zum anderen darauf zurückzuführen sein, daß die Ansprechwahrscheinlichkeit der Zählrohre mit zunehmendem Alter abnahm, was durch eine Lamontkorrektur ausgeglichen wurde.

Nach diesen Vorbereitungen konnte ein Vergleich mit den erdmagnetischen Elementen und der Sonnentätigkeit erfolgen. Dazu standen die Werte der Nord-Süd-(X-)Komponente der Horizontalintensität und der Vertikalintensität (Z) noch vor ihrer Veröffentlichung nach Beobachtungen in Niemegk zur Verfügung. Herrn Professor Bartels und den Mitarbeitern des Potsdamer Geophysikalischen Instituts habe ich dafür besonders zu danken. Als Merkmale für die Sonnenaktivität dienten die Sonnenfleckenrelativzahlen, die Kalzium- und die Wasserstofflocken. Die Angaben darüber entstammen dem Quaterly Bulletin on Solar Activity, für dessen Zusendung ich Herrn Professor Brunner von der Züricher Eidgenössischen Sternwarte bestens danke.

Bei der Zeichnung eines Überblicks stellte sich heraus, daß nur manche erdmagnetischen Stürme einen Einfluß auf die Höhenstrahlung ausüben, wie auch S. E. Forbush (25) bei dem Sturm vom 22. 8. 1937 beobachtete. Es zeigte sich nämlich bei dem Sturm vom 24. 2. 1939, der einen Abfall der Horizontalintensität um 100 γ innerhalb von zwei Tagen aufwies, daß keine wesentliche Änderung in der Intensität der Höhenstrahlung erfolgte. Die weit schwächeren Störungen vom 19. 12. 1938, 25. 4. und 6. 5. 1939 machten sich dagegen schon stark bemerkbar. Außerdem erschien es auffällig, daß dieser Sturm (24. 2. 1939) keinen Zusammenhang mit der Sonnentätigkeit zeigte, während die auf die Höhenstrahlung wirksamen Stürme von einer Erhöhung der Sonnentätigkeit begleitet waren. Dies kommt besonders bei den in der Tabelle 2 angegebenen Mittelwerten für die Rotation 1451 zum Ausdruck.

In Anlehnung an die eingangs zitierten Arbeiten wurden zunächst die Tagesmittel der einzelnen Rotationen zusammengestellt und aus ihnen die Mittelwerte für die Rotationstage 1–27 über den ganzen Zeitraum gebildet. Ebenso wurde mit den magnetischen Elementen, mit den Sonnenflecken und -flocken verfahren. Nachdem aber schon eine Zeichnung dieser Mittelwerte keinen

deutlichen Zusammenhang hatte erkennen lassen, ergab auch die Korrelationsrechnung z. B. für die Ca-Flocken nur einen Korrelationskoeffizienten von $R = -0{,}10 \pm 0{,}15$. Es besteht also hier keinerlei Beziehung. Dies ist bei Beachtung folgender Tatsachen durchaus erklärlich: Die Tagesmittelbildung dient nur dazu, der Verteilung der stärker wirksamen Flecken, die sich über mehrere Rotationen nachweisen lassen, Rechnung zu tragen. In einem so langen Zeitraum werden aber nacheinander verschiedene Fleckengruppen auftreten, deren Wirkungen sich gegenseitig ausgleichen. Hinzukommt, daß das Bild durch die beiden großen Störungen, die voneinander unabhängig in den Rotationen 1443 und 1451 durch magnetische Stürme hervorgerufen wurden, zu stark beeinflußt wird. Während die Schwankungen der Höhenstrahlung in dieser Rotation (1451) bis auf 4,72 % anstiegen, waren sie sonst gering und betrugen z. B. in der Rotation 1445 nur 1,03 %. Da auch aus der Übersichtszeichnung hervorging, daß der Zusammenhang mit der Sonnentätigkeit ebenfalls nicht gut war, wurde die Korrelationsrechnung für jede Rotation einzeln durchgeführt. Die Wahl dieses kürzeren Zeitraums bietet den Vorteil, daß der Jahresgang der erdmagnetischen Elemente nicht berücksichtigt zu werden braucht. Dieser tritt besonders stark in den Mittelwerten der Vertikalintensität hervor, kann aber auf die Höhenstrahlung nur ganz geringen Einfluß haben, da er auf Vorgängen im Erdinnern beruht.

Die Ergebnisse der Korrelationsrechnung sowie die Mittelwerte der einzelnen betrachteten Elemente enthält die Tabelle 3. Zum Vergleich mit den Werten von W. Kolhörster und G. R. Miczaika, die mit derselben Apparatur gewonnen sind, wurden diese daran anschließend in der Tabelle 4 mit den Werten für den magnetisch gestörten und ungestörten Rotationen zusammengestellt. – Die Werte von Miczaika wurden dahin ergänzt, daß für die Rotationen 1430–1432 und 1440–1442 auch noch die erdmagnetischen Komponenten mit der Intensität korreliert und für Angaben über die Sonnentätigkeit die Effekte berechnet wurden. Das Material liegt somit über einen Zeitraum von zwei Jahren vollständig vor.

Die beiden stark magnetisch gestörten Rotationen 1443 und 1451 liefern Korrelationskoeffizienten in Übereinstimmung mit den früheren Werten sämtlich negativ mit Ausnahme der Werte für

die dunklen Ha-Flocken. Auch Miczaika fand für die dunklen Ha-Flocken in den Rotationen 1440–1442 einen positiven Korrelationskoeffizienten, während vorher allerdings gerade die negative Korrelation besonders gut gewesen war. Aus dem Verlauf der Übersichtszeichnung läßt sich ferner entnehmen, daß die dunklen Ha-Flocken im wesentlichen entgegengesetzt zu den hellen Ha-Flocken laufen. Es sei hier nochmals auf die Arbeit von Graziadei (38) verwiesen, der für die dunklen Ha-Flocken teilweise eine positive und teilweise eine negative Korrelation fand, während er für die Ca- und hellen Ha-Flocken nur eindeutig negative Korrelationen berechnete. Die hellen Ha-Flocken und die Ca-Flocken zeigen eine ziemlich gleich gute Korrelation, während diese für die Sonnenflecken etwas kleiner ist.

Bei den kaum gestörten Rotationen 1444–1450 tritt im Mittel eine geringe positive Korrelation auf, während die dunklen Ha-Flocken wieder das entgegengesetzte Verhalten zeigen. Die Werte steigen aber nur in der Rotation 1448 zu einer etwas besseren positiven Korrelation an. Schon die Zeichnung zeigt, daß dieses Verhalten nur zufällig ist; denn größere Intensitätsschwankungen liegen gar nicht vor. Interessant ist auch das Fehlen jeglicher Korrelation in der Rotation 1449, in welcher der bereits erwähnte starke magnetische Sturm auftrat, der ohne irgendeine Wirkung auf die Höhenstrahlung blieb. – Zusammenfassend läßt sich sagen, daß ein wirklicher positiver Zusammenhang zwischen den Höhenstrahlen und den Daten für die Sonnentätigkeit kaum besteht, während ein eindeutig negativer Zusammenhang nur in den magnetisch gestörten Rotationen auftritt. Hierbei wie im folgenden sind die Rotationen 1452–1455 wegen der erwähnten apparativen Störungen nicht mehr verwandt worden.

Im Gegensatz zu dem wechselnden Verhalten der Angaben über die Sonnentätigkeit zeigt die Korrelation mit den erdmagnetischen Elementen immer das gleiche Vorzeichen. Die Koeffizienten lassen allerdings keine sehr große Verbundenheit erkennen und steigen nur in der Rotation 1446, wo eine kleine auf die Höhenstrahlung wirksame magnetische Störung auftrat, zu einem Höchstwert von –0,73 an.

Ein Vergleich der Effekte schien zunächst zu keinem Erfolg zu führen; z. B. treten die größten Magneteffekte in der Rotation 1447

auf, in der die Schwankung der Tagesmittel der X-Komponente nur 22 γ beträgt und keine merkliche Intensitätsänderung der Höhenstrahlung beobachtet wird. Dieser hohe Effekt und damit auch ein Teil der übrigen Schwankungen rühren von der im II. Teil erwähnten ausgleichenden Wirkung der Korrelationsrechnung her. Die angegebenen Effekte beziehen sich bei der geringen Korrelation nur auf die in der betreffenden Rotation herrschenden Schwankung. Diese Schwankungen wurden daher ebenfalls in die Tabellen 3 und 4 eingetragen und mit den entsprechenden Effekten multipliziert. Die so erhaltenen Werte stellen die auf die Höhenstrahlung wirksamen Effekte des Elements in Prozenten der mittleren Intensität dar und werden als Ausmaß (s. W. Kolhörster [23]) bezeichnet. Sie eignen sich besonders zum Vergleich der Wirkung verschiedener Elemente in den einzelnen Rotationen, da sie sich dort auf dieselbe Intensitätsschwankung beziehen. Die wirksamen Effekte eines Elementes lassen sich nunmehr durch mehrere Rotationen nur unter Berücksichtigung der Schwankungen der Höhenstrahlung vergleichen. Deshalb, und um festzustellen, ob die beobachteten Schwankungen der Höhenstrahlung den Ausmaßen entsprechen, wurden sie in Absolutwerten und in Prozenten des Mittelwertes der in der Rotation herrschenden Gesamtintensität den Tabellen angefügt.

Trotz der sehr guten Korrelation reicht in den Rotationen 1433 bis 1439 das Ausmaß der dunklen Ha-Flocken nicht aus, um die auftretende Schwankung zu erklären, denn das Ausmaß der X-Komponente ist ungefähr gleich groß. Eine gewisse Übereinstimmung besteht dagegen in der Rotation 1443, wo das Ausmaß für die hellen Ha-Flocken ein deutliches Überwiegen des Sonneneinflusses gegenüber dem magnetischen zeigt. – Der in den Rotationen 1430–1442 angestellte Vergleich zwischen dem Verhalten der Zentralzone und der ganzen Sonnenscheibe spricht für eine Erklärung dieses Sonneneffekts durch das äußere sonnenmagnetische Feld. Bei einer indirekten Beeinflussung durch den Ringstrom hätte die der Erde zugekehrte Zentralzone eine stärkere Wirksamkeit zeigen müssen, während gerade umgekehrt die Korrelation für die Erscheinungen der ganzen Sonnenscheibe etwas besser war.

Beim Vergleich der verschiedenen Ausmaße für die Sonnentätigkeit untereinander in den einzelnen Rotationen sieht man, daß sich die Effekte für die Flocken nur wenig von denen für die Flecken unterscheiden. Der in den einfachen Effekten auftretende große Unterschied rührt also nur von der verschiedenen Festsetzung der Einheiten her. Recht merkwürdig verhalten sich auch hier wieder die dunklen Ha-Flocken, die einmal in den Rotationen 1443 bis 1439 das größte negative und in der Rotation 1451 ebenfalls das größte positive Ausmaß, allerdings nur absolut genommen, zeigen. – Ein eingehender zahlenmäßiger Vergleich ist wegen der Unsicherheit der astronomischen Angaben nur schwer möglich. So sind z. B. die Tagesmittelwerte der Flocken aus Einzelwerten errechnet, die bis $\pm 20\,\%$ vom Mittelwert abweichen.

Bei den Werten für die X- und Z-Komponente der magnetischen Intensität bewährt sich die Berücksichtigung der Schwankungen ganz besonders. Hierdurch werden einmal die erstaunlich hohen Effekte und zum andern die Tatsache erklärt, daß die Effekte der Z-Komponente rund doppelt so groß wie die der X-Komponente sind. In den Ausmaßen ist dagegen während magnetisch gestörter Zeiten X stärker wirksam als Z. Dies erklärt sich daraus, daß die X-Komponente klar den zu erwartenden Ringstromeffekt zeigt, während die Vertikalintensität durch im Erdinnern induzierte Ströme gestört ist (39). Sie gibt außerdem in unseren Breiten mehr den Verlauf der sich ebenfalls unter der Wirkung solarer Korpuskularstrahlung ausbildenden Ströme in der Polarlichtzone an. Dieser Unterschied zeigt sich schon in den Korrelationskoeffizienten und tritt besonders stark in der Rotation 1451 hervor, wo die Z-Komponente nur im Basiswert etwas erhöht ist, aber sonst keinen Zusammenhang mit der starken Schwankung der Höhenstrahlung aufweist. Daß die Z-Komponente in den magnetisch kaum gestörten Rotationen 1440–1442 und 1444–1455 aber stärker wirksam ist als die X-Komponente, läßt sich in demselben Sinne vielleicht so deuten: Nachdem der Ringstrom abgeklungen ist, mögen nur noch die Stromsysteme der Ionosphäre die Schwankungen der Höhenstrahlung beeinflussen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Rotation 1446, in der die Tagesmittelwerte der magnetischen Intensität eine Störung zeigen, auf welche die Höhenstrahlung stark reagiert, ohne daß ein ausgesprochener Sturm auftritt.

Dies drückt sich besonders in dem hohen Korrelationskoeffizienten der Z-Komponente mit −0,73 sowie in dem starken Ausmaß von −2,5 % gegenüber einer Gesamtschwankung der Höhenstrahlung von 2,85 % aus. – Es dürfte daher für die Dauer magnetischer Stürme genügen, die Höhenstrahlungsintensität mit der magnetischen Horizontalintensität in Zusammenhang zu bringen, während man bei Bearbeitung längerer Registrierreihen noch die Vertikalintensität mit heranziehen sollte.

Übereinstimmende Ergebnisse für die Dauer starker magnetischer Stürme wurden berichtet von S. W. Forbush (29) und V. F. Heß (40), welche Effekte zwischen +6,0 % und +2,0 %/100 γ anführen, die den aus vorstehenden Berechnungen abgeleiteten Werten zwischen +5,6 % und +4,1 %/100 γ durchaus entsprechen. Dagegen findet Heß aus seinen Ionisationskammermessungen bei Benutzung von Tagesmitteln für den Zeitraum eines Jahres den negativen Effekt ME_2 von −2,0 %/100 γ, während sich aus dem hier bearbeiteten Zeitraum ein eindeutig positiver Effekt derselben Größenordnung ergibt. Nach den Angaben von Heß treten auch bei seinen Berechnungen neben den negativen Effekten positive für kürzere Zeiträume auf. Zur Erklärung des negativen Effektes im Jahresgang und des von ihm gleichfalls gefundenen negativen Effekts ME_3 im Tagesgang versucht Heß einige Ausdeutungen der Chapmanschen Ringstromtheorie, deren Schwierigkeiten gegenüber er zur Erklärung des Tagesganges auf die Möglichkeit des Einflusses der Ionosphäre hinweist. Der Tagesgang der Höhenstrahlung läßt sich aber auch, wie schon erwähnt, durch den entgegengesetzten Verlauf der Luftdichte erklären. Ein positiver Effekt auf Grund des Ionosphäreneinflusses erscheint daher möglich. Eine Verstärkung der Ströme in den hohen Atmosphärenschichten wird eine verstärkte Ablenkung der dort entstehenden Sekundärstrahlen zur Folge haben und damit zu einer Verminderung der auf den Erdboden einfallenden Intensität beitragen. Das Vorzeichen des Effekts erklärt sich so, daß durch diese Ströme die Vertikalintensität verstärkt wird und die Horizontalintensität entsprechend absinkt. Übrigens fand auch S. E. Forbush (29) nach Reduktion des Jahresganges beim Vergleich von Monatsmitteln der Höhenstrahlungsintensität mit der magnetischen Horizontalintensität einen positiven Zusammenhang.

Um einmal einen zahlenmäßigen Vergleich zwischen der bisher angewandten Methode und den Ergebnissen der im Teil II näher erörterten Vierfach-Korrelation zur Verfügung zu haben, wurde diese probeweise für eine Rotation mit der magnetischen Horizontalintensität berechnet. Es ergab sich dabei in voller Übereinstimmung mit den angestellten Überlegungen, daß die Effektwerte beim Luftdruck und bei der Temperatur sich kaum änderten, weil hier schon die Zweifach-Korrelation einen Zusammenhang erkennen ließ. Dagegen trat beim Magneteffekt entsprechend der unsicheren Korrelation eine Änderung um 50 % auf.

Zur Trennung des Einflusses der Sonnentätigkeit vom Magneteinfluß in der Rotation 1443 und 1451 und Feststellung, ob Änderungen in den Korrelationskoeffizienten und Effekten bei Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit auftraten, wurden für diese Dreifach-Korrelationen zwischen reduzierter Intensität, magnetischer Horizontalintensität und der Sonnenaktivität (Ca-Flocken) gerechnet. Die Ergebnisse bestätigten die frühere Deutung, indem in der Rotation 1443 der Korrelationskoeffizient und Effekt für die Horizontalintensität noch mehr absank, während in der Rotation 1451 eine Verbesserung für beide Elemente eintrat. Der negative Einfluß der Sonnentätigkeit ist also wohl reell, zumal der starke Magneteinfluß allein nicht zur Erklärung der Schwankungen in der Höhenstrahlung ausreicht.

Wegen des in der Rotation 1449 am 24. 2. 1939 beobachteten auf die Höhenstrahlung unwirksamen magnetischen Sturmes wurde abschließend diese interessante Frage auf Grund des vorliegenden Materials untersucht. Ein Erklärungsversuch für dieses Verhalten ist bisher nur von S. F. Forbush (25) gegeben worden. Dieser nimmt an, daß es für die Größe des Zusammenhanges zwischen Ringstrom und Höhenstrahlung auf dessen Abstand von der Erde ankommt, da bei größerem Abstand das Magnetfeld des Ringstromes länger als bei kleinerem auf die Teilchen einwirken kann. Auf diese Weise hatte schon W. Kolhörster (41) die verschiedene Größe der Effekte erklärt, wie sie bei den dicht aufeinanderfolgenden Stürmen vom Januar 1938 von ihm beobachtet worden waren. Das völlige Fehlen des Zusammenhanges läßt sich aber auf diese Weise kaum deuten. Die bereits erwähnte Beobachtung,

daß der Sturm in der Rotation 1449 nicht von einer Erhöhung der Sonnentätigkeit begleitet war, wie der wirksame Sturm in der Rotation 1451, schien nun einen Hinweis auf die Besonderheit dieses Sturmes zu enthalten. Um dieses Verhalten auch bei anderen unwirksamen Stürmen zu untersuchen, wurden die Registrierungen sämtlicher zur Verfügung stehender Rotationen auf Grund der internationalen erdmagnetischen Charakterzahlen daraufhin durchgesehen. Überraschenderweise ließen sich noch fünf Magnetstürme, die keinen oder nur einen sehr geringen Einfluß auf die Höhenstrahlung hatten, ermitteln. Diese sowie der von Forbush erwähnte Sturm zeigten aber eine Beziehung zur Sonnentätigkeit, so daß das Verhalten des Sturmes in der Rotation 1449 nur zufällig erscheint. Auch die Darstellung des Tagesverlaufes der magnetischen Horizontal- und Vertikalintensität für diese Stürme führte zu keinem Ergebnis. Betrachtet man dagegen die Stürme, die eine Änderung der Höhenstrahlung hervorrufen, so fällt auf, daß sich diese immer über einen längeren Zeitraum erstrecken. Als besonderes Merkmal dafür ist das dauernde Absinken der Horizontalintensität anzusehen, wie es bei den Stürmen vom 23. 4. bis zum 2. 5. 1937, vom 16. bis zum 27. 1. 1938, vom 17. 4. bis zum 8. 5. 1939 und vom 24. 3. bis zum 3. 4. 1940 der Fall war. Man kann vielleicht annehmen, daß die hier auftretenden Ringströme wegen ihrer langen Dauer stark wirksam sind, während die schnell wieder abklingenden Stürme von schwachen Ringströmen hervorgerufen werden, die deshalb keinen Einfluß auf die Höhenstrahlung aufweisen. Auch J. Bartels (39) deutet darauf hin, daß die Größe der Schwankungen der Horizontalintensität kein Maß für die Stärke des Ringstromes ist, denn die bisher als stärkste in Europa aufgezeichnete magnetische Störung vom 16. April 1938 wies einen kleineren Einfluß auf die Höhenstrahlung auf, als die nicht annähernd so starke Störung vom 17. Januar 1938. Sie zeigt auch noch insofern eine Besonderheit, als schon 10 Tage vorher ein kontinuierliches Absinken der Höhenstrahlung einsetzt, während bei den übrigen erwähnten Stürmen dies Absinken erst bei dem plötzlichen Sturmanfang, der besonders in der Horizontalintensität ausgeprägt ist, beginnt. Gerade zur eingehenden Klärung dieser Frage bedarf es aber noch weiterer langjähriger Registrierungen.

Zusammenfassend lassen sich bei der Bearbeitung eines Zeitraumes von zwei Jahren, welcher unter der Nachwirkung des letzten Sonnenfleckenmaximums starke magnetische Stürme aufweist, folgende Einflüsse auf die Höhenstrahlung erkennen:

1. Ein immer vorhandener Einfluß der magnetischen Elemente, der sich besonders in einem negativen Zusammenhang zwischen der Vertikalintensität und der Höhenstrahlung äußert und vielleicht auf Ströme in der Ionosphäre zurückgeführt werden kann.

2. Beim Auftreten lang andauernder magnetischer Stürme eine eindeutig positive Beziehung zur Horizontalintensität, die sich auf Grund der Beeinflussung der Höhenstrahlung durch den Ringstrom deuten läßt.

3. Ein Einfluß der Sonnentätigkeit, der sich besonders in der guten negativen Korrelation während der Dauer magnetischer Störungen ausdrückt, und dessen Wirkungsweise durch ein äußeres Magnetfeld der Sonne erklärt werden könnte.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. W. Kolhörster, danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit, das fördernde Interesse, das er ihr stets entgegenbrachte, sowie für die freundliche Bereitstellung des Materials. Das Material ist zu einem großen Teil mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gewonnen worden, die Professor Dr. Kolhörster zur Verfügung gestellt waren.

Tabelle 1

Zusammenstellung der Luftdruck- und Temperaturkoeffizienten sowie der zugehörigen Effekte für die Sonnen-Rotationen 1443-1455

		1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	Mittel
R_b	VI	—0,67	—0,94	—0,89	0,97	1,00	—0,78	—0,69	—1,00	0,56	—0,34	—0,59	—0,49	+0,04	—0,78
	VII	—0,93	—0,95	—0,23	—0,84	—1,00	—0,87	—0,87	—0,95	0,66	—0,36	—0,57	—0,13	+0,21	—0,85
P_b%	VI	—2,48	—3,10	—2,49	2,79	—4,13	2,57	—2,00	—3,14	—3,61	—2,80	—3,13	—2,99	+0,40	—2,95
	VII	—4,09	—3,28	—1,22	—2,33	—3,82	—3,14	—2,59	—3,30	2,38	—2,62	3,47	—0,80	+4,24	—3,15
R_t	VI	0,55	—0,50	+0,40	—0,69	—1,00	—0,63	+0,27	—1,00	+0,44	—0,07	—0,11	0,01	—0,12	—0,31
	VII	—0,89	—0,52	—0,18	—0,18	—1,00	—0,65	—0,36	—0,87	+0,36	—0,06	—0,30	—0,34	—0,07	—0,40
P_t%	VI	—0,23	—0,09	+0,25	—0,09	—0,33	—0,28	+0,13	—0,35	+0,36	—0,14	—0,08	—0,01	0,17	—0,07
	VII	—0,41	—0,09	—0,26	—0,04	—0,30	—0,28	—0,13	—0,22	+0,17	—0,13	0,26	—0,23	—0,16	—0,14
R_b	Mtl.	—0,80	—0,94	—0,56	—0,90	—1,00	—0,83	—0,78	0,97	0,61	0,35	0,58	—0,32	+0,12	—0,82
P_b%	Mtl.	—3,28	—3,19	—1,86	—2,56	—3,97	2,86	—2,29	—3,22	—3,00	—2,71	—3,30	1,90	+2,32	—3,05
R_t	Mtl.	—0,72	—0,51	+0,11	—0,44	—1,00	—0,64	—0,05	—0,93	+0,40	—0,06	—0,21	0,71	—0,09	—0,35
P_t%	Mtl.	—0,32	—0,09	—0,00	—0,07	—0,31	—0,28	—0,00	—0,28	+0,26	—0,14	—0,17	—0,12	—0,15	—0,10
B		75,79	75,68	75,61	75,94	74,96	75,94	75,54	75,29	75,61	75,83	75,55	75,44	75,83	75,62
T		+14,7	+8,8	+7,1	—4,4	+3,4	+2,2	+2,3	+7,3	+9,7	+15,1	+17,3	+19,8	+19,4	+9,4

Tabelle 2

Mittelwerte der Rotationen 1430-1455

		1430-32	1433-39	1440-42	1443	1444-50	1451
Sonnenfleckenrelativzahlen .	$Sr = 10$	9,4	10,5	12,7	9,4	9,0	13,0
Calziumflocken	$Ca = 1$	3,2	3,4	3,6	3,4	3,1	3,6
helle H_α-Flocken	$hH_\alpha = 1$	3,1	3,2	3,3	3,0	2,8	3,4
dunkle H_α-Flocken	$dH_\alpha = 1$	2,7	2,9	2,9	3,3	3,1	2,0
Tagesmittel ΔX	$\gamma = 100$	183,81	183,79	183,97	183,72	183,86	183,74
Tagesmittel ΔZ	$\gamma = 100$	433,10	433,22	433,35	433,48	433,62	433,87

	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	Mittel
Sr	9,4	10,8	12,0	9,3	7,8	7,5	7,7	7,7	13,0	11,1	10,0	8,9	12,9	9,8
Ca	3,4	3,2	3,5	3,7	3,3	2,8	2,9	2,6	3,6	3,5	3,3	2,9	3,6	3,2
hH_α	3,0	2,8	3,1	3,2	2,7	2,5	2,5	2,4	3,4	3,0	3,0	2,4	3,2	2,9
dH_α	3,3	3,7	2,9	3,0	2,6	3,0	3,5	2,8	2,1	2,3	2,9	2,6	2,7	2,9
ΔX	183,70	183,82	183,77	183,81	183,95	183,90	183,80	183,94	183,74	183,92	183,89	183,94	183,90	183,85
ΔZ	433,52	433,56	433,61	433,68	433,56	433,60	433,72	433,70	433,87	433,88	433,89	433,89	433,91	433,72
Intensität VI und VII $I = 1000\,\mathrm{Ko}\,i$	199,92	201,28	203,29	201,56	201,50	202,70	202,98	203,56	200,83	202,10	203,51	203,54	203,32	202,31

Tabelle 3

Zusammenstellung der Korrelations- Höhenstrahlung sowie der

Rotation	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449
Sonnenflecken-relativzahlen	−0,75	−0,24	+0,12	+0,07	+0,23	+0,58	+0,02
	−0,21	−0,03	+0,01	+0,03	+0,08	+0,28	+0,01
	10,5	14,7	11,9	10,8	9,3	5,9	8,8
	−2,25	−0,44	+0,12	+0,32	+0,74	+1,62	+0,35
Kalziumflocken	−0,76	−0,10	+0,26	+0,27	+0,26	+0,51	−0,09
	−1,24	−0,08	+0,17	+0,48	+0,45	+1,11	−0,08
	2,4	2,1	1,6	1,3	1,5	1,2	1,8
	−2,97	−0,17	+0,27	+0,62	+0,68	+1,33	−0,14
helle H_α-Flocken	−0,77	−0,23	+0,29	+0,13	+0,24	+0,51	+0,04
	−1,27	−0,17	+0,17	+0,25	+0,36	+0,79	+0,03
	2,7	2,1	1,7	1,5	2,3	2,5	1,9
	−3,43	−0,36	+0,29	+0,37	+0,83	+1,98	+0,06
dunkle H_α-Flocken	+0,25	+0,04	+0,45	−0,51	+0,46	−0,05	−0,12
	+0,33	+0,05	+0,57	0,51	+0,57	−0,09	−0,08
	1,6	1,4	1,0	2,3	2,0	2,1	2,3
	+0,53	+0,07	+0,57	−1,17	+1,14	−0,19	−0,18
Tagesmittel ΔX	+0,37	+0,07	+0,02	+0,53	+0,38	+0,37	+0,17
	+2,62	+0,29	+0,09	+3,51	+5,53	+2,30	+0,41
	0,56	0,36	0,40	0,44	0,22	0,49	1,03
	+1,47	+0,10	+0,05	+1,55	+1,22	+1,13	+0,42
Tagesmittel ΔZ	0,13	−0,24	0,23	−0,73	0,34	−0,41	−0,30
	2,24	−2,01	1,82	10,47	11,83	4,83	1,51
	0,20	0,19	0,13	0,24	0,11	0,24	0,52
	−0,44	−0,38	0,24	−2,52	−1,30	−1,16	−0,78
Höhenstrahlung	7,34	3,65	2,10	5,75	5,57	4,71	3,60
	3,66	**1,76**	**1,03**	**2,85**	**2,76**	**2,32**	**1,77**

koeffizienten und Effekte zur Schwankungen und Ausmaße

1450	1451	1452	1453	1454	1455	
−0,06	−0,25	+0,21	−0,21	−0,05	−0,42	Koeffizient
−0,01	−0,17	+0,01	−0,06	−0,02	−0,10	Effekt in % / $Sr = 10$
10,6	6,9	10,4	9,6	12,1	7,6	Schwankung
−0,11	−1,27	+0,31	−0,58	−0,24	−0,76	Ausmaß
+0,15	−0,24	+0,45	+0,04	+0,16	+0,06	Koeffizient
+0,15	−0,87	+0,41	+0,12	+0,41	+0,16	Effekt in % / $Ca = 1$
1,4	1,0	1,2	0,8	1,4	1,4	Schwankung
+0,21	−0,87	+0,49	+0,10	+0,57	+0,22	Ausmaß
−0,08	−0,20	+0,33	−0,05	+0,13	+0,27	Koeffizient
−0,08	−0,75	+0,25	−0,07	+0,26	+0,39	Effekt in % / $hH_a = 1$
1,3	1,4	1,5	1,9	1,7	1,4	Schwankung
−0,10	−1,05	+0,38	−0,13	−0,44	+0,55	Ausmaß
−0,08	+0,31	−0,01	−0,41	−0,26	+0,22	Koeffizient
−0,06	+1,03	−0,01	−0,68	−0,44	+0,20	Effekt in % / $dH_a = 1$
2,0	1,7	1,4	1,8	2,0	2,3	Schwankung
−0,12	+1,75	−0,14	−1,22	−0,88	+0,43	Ausmaß
+0,50	+0,56	+0,65	+0,06	+0,04	+0,24	Koeffizient
+1,71	+4,13	+3,54	+0,29	+0,41	+0,87	Effekt in % / $\gamma = 100$
0,45	0,81	0,27	0,52	0,39	0,53	Schwankung
+0,77	+3,35	+0,95	+0,15	+0,16	+0,46	Ausmaß
−0,51	−0,01	+0,24	+0,11	+0,02	+0,06	Koeffizient
−3,36	−0,23	+2,22	+1,50	+0,39	+0,40	Effekt in % / $\gamma = 100$
0,31	0,19	0,12	0,35	0,27	0,25	Schwankung
−1,04	−0,04	+0,27	+0,53	+0,11	+0,10	Ausmaß
3,79	9,51	2,30	6,22	7,47	5,43	Schwankung in 1000 Koi
1,86	**4,72**	**1,14**	**3,06**	**3,67**	**2,69**	Schwankung in %

Tabelle 4

Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten und Effekte zur Höhenstrahlung sowie der Schwankungen und Ausmaße

	1430-1432	1433-1439	1440-1442	1443	1444-1450	1451	
Sonnen-	—0,21	—0,78	—0,18	—0,75	+0,10	—0,25	Koeffizient
flecken-	—0,01	—0,22	—0,01	—0,21	+0,05	—0,17	Effekt $\%/Sr = 10$
relativzahlen	6,1	5,9	7,1	10,5	10,3	6,9	Schwankung
	—0,06	—1,30	—0,04	—2,25	+0,45	—1,27	Ausmaß
	—0,71	—0,82	—0,47	—0,76	+0,18	—0,24	Koeffizient
Kalzium-	—1,10	—1,37	—0,59	—1,24	+0,15	—0,87	Effekt $\%/Ca = 1$
flocken	1,4	0,9	1,7	2,4	1,6	1,0	Schwankung
	—1,54	—1,29	—1,00	—2,97	+0,40	—0,87	Ausmaß
	—0,18	—0,80	—0,41	—0,77	+0,13	—0,20	Koeffizient
helle H_α-	—0,37	—1,05	—0,71	—1,27	+0,19	—0,75	Effekt $\%/hH_\alpha = 1$
Flocken	1,1	1,3	1,3	2,7	1,9	1,4	Schwankung
	—0,41	—1,40	—0,92	—3,43	+0,44	—1,05	Ausmaß
	—0,64	—0,89	+0,50	+0,25	+0,03	+0,31	Koeffizient
dunkle H_α-	—0,69	—1,68	+0,70	+0,33	+0,06	+1,03	Effekt $\%/dH_\alpha = 1$
flocken	2,2	1,2	1,3	1,6	2,1	1,7	Schwankung
	—1,52	—2,02	+0,91	+0,53	+0,12	+1,75	Ausmaß
	+0,65	+0,66	+0,01	+0,37	+0,29	+0,56	Koeffizient
Tagesmittel	+5,34	+5,60	+0,07	+2,62	+1,97	+4,13	Effekt $\%/\gamma = 100$
ΔX	0,28	0,30	0,28	0,56	0,49	0,81	Schwankung
	+1,50	+1,77	+0,02	+1,47	+0,97	+3,35	Ausmaß
	—0,34	—0,45	—0,13	—0,13	—0,39	—0,01	Koeffizient
Tagesmittel	—6,23	—8,50	—1,58	—2,24	—5,12	—0,23	Effekt $\%/\gamma = 100$
ΔZ	0,13	0,12	0,20	0,20	0,25	0,19	Schwankung
	—0,81	—1,02	—0,32	—0,44	—1,28	—0,04	Ausmaß
Höhen-	5,06	6,10	3,55	7,34	4,16	9,51	Schwankung in 1000 Ko i
strahlung	2,42	2,94	1,68	3,66	2,05	4,72	Schwankung in %

Literatur

1. V. F. Heß – Wiener Ber. IIa, 2001, 1912.
2. W. Kolhörster – Abh. Naturf. Ges. Halle N. F. Nr. 4, 1914.
3. L. Myssowsky und L. Tuwim – Z. Physik 39, 146, 1926.
4. S. G. Simpson und C. S. Wright – Proc. Roy. Soc. 85, 175, 1911.
5. A. Corlin – Lund Obs. Circular Nr. 1, 1928.
6. W. Kolhörster – Naturwiss. 16, 1044, 1928.
7. W. Bothe und W. Kolhörster – Naturwiss. 16, 1045, 1928.
8. W. Kolhörster – Naturwiss. 7, 412, 1919.
9. W. Bothe und W. Kolhörster – Berl. Ber. 1930, Nr. 26.
10. J. Clay – Proc. Amsterdam 31, 1091, 1928.
11. W. Kolhörster – Z. Physik 11, 379, 1922.
12. A. Corlin – Ark. Mat. Astr. Fys. 22 (B), 1, 1930.
13. W. Kolhörster und L. Tuwim – Erg. Kosm. Phys. 1, Nr. 3, 1931.
14. W. Messerschmidt und W. S. Pforte – Z. Physik 73, 677, 1932.
15. W. Kolhörster und I. Matthes – Phys. Zs. 40, 142, 1939.
16. H. Yukawa – Proc. Phys. Rev. 52, 552, 1937.
17. H. Euler und W. Heisenberg – Erg. exakt. Naturw. 17, 1, 1938.
18. G. Pfotzer – Z. Physik 102, 23, 1936.
19. V. F. Heß und M. Kofler – Phys. Zs. 18, 585, 1917.
    K. Kähler – Phys. Zs. 21, 324, 1920.
20. G. Hoffmann – Zs. Phys. 69, 703, 1931.
    W. Messerschmidt – Zs. Phys. 78, 668, 1932.
21. V. F. Heß und R. Steinmaurer – Berl. Ber. 1933, 521.
    J. A. Priebsch – Wiener Ber. 1936, 101.
    J. Barnothy und M. Forro – Zs. Phys. 100, 742, 1936.
22. C. L. Pekeris – Proc. Roy. Soc. 158, 650, 1937.
23. W. Kolhörster – Zs. techn. Phys. 21, 284, 1940.
24. A. Corlin – Zs. Phys. 50, 808, 1928.
    W. Messerschmidt – Zs. Phys. 85, 332, 1933.
    R. Steinmaurer und H. Graziadei – Berl. Ber. 1933, 672.
25. J. Chapman – Nature 140, 423, 1937.
    S. E. Forbush – Terr. Magn. 43, 203, 1938.
26. J. Bartels – Terr. Magn. 37, 1, 1932.
27. L. Janossy – Zs. Physik 104, 430, 1937.
28. G. R. Miczaika – Zs. Physik 113, 161, 1939.
29. S. E. Forbush – Rev. Mod. Phys. 11, 168, 1939.
30. V. F. Heß und R. Steinmaurer – Berl. Ber. 1933, 445.
    E. Steinke – Z. Physik 64, 48, 1930.
    W. Messerschmidt – Z. Physik 87, 800, 1934.
31. J. Barnothy und M. Forro – Z. Physik 104, 534, 1937.
32. F. Göttlicher und W.-W. Dittrich – Phys. Zs. 41, 402, 1940.
33. W.-W. Dittrich – Phys. Zs. 40, 256, 1940.
34. J. C. Mouzon – Rev. Sci. Instr. 7, 467, 1936.
35. A. Corlin – Lund Obs. Circular 4, 1934.
36. W. Kolhörster – Phys. Zs. 40, 107, 1939.
37. G. R. Miczaika – Z. Astrophys. 18, 146, 1939.
38. H. Th. Graziadei – Wiener Ber. 1936, 495.
39. J. Bartels – Zs. Geophys. 1938, 297.
40. V. F. Heß – Wiener Ber. 1938, 89.
41. W. Kolhörster – Naturw. 26, 159, 1938.

Lebenslauf

Am 6. November 1919 wurde ich, Ernst-August Meineke, als ältester Sohn des Rechtsanwalts und Notars Ernst Meineke und seiner Ehefrau Ilse, geb. Landgraf in Wolfenbüttel geboren. Ich bin deutscher Staatsangehöriger und evangelischer Konfession. Nach Besuch der Grundschule trat ich in die Staatliche Große Schule zu Wolfenbüttel ein und legte dort am 17. März 1937 die Reifeprüfung ab. Danach genügte ich der Arbeitsdienstpflicht und studierte anschließend an den Universitäten Jena, Heidelberg und Berlin Meteorologie, Ozeanographie, Physik, Mathematik und Astronomie. Seit dem 1. Oktober 1940 bin ich zur Luftwaffe eingezogen.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren: Defant – Ertel – Kähler – Kolhörster – Kulenkampff – Peppler – F. K. Schmidt – Vogt – Wüst – Zistler.